IX. *De la structure des vaisseaux Anglais, considérée dans ses derniers perfectionnements. Par* Charles Dupin, *Correspondant de l'Institut de France, &c. Communicated by the Right Hon. Sir* Joseph Banks, *Bart. G. C. B. P. R. S.*

Read December 19, 1816.

Attiré dans la Grande Bretagne par le désir de rendre plus complet et moins imparfait mon ouvrage intitulé *Tableau de l'Architecture Navale aux* 18 *et* 19 *Siècles*, j'ai trouvé dans beaucoup d'officiers militaires et civils de la marine, et dans les membres de la Société Royale qui me les ont fait connaitre, cette obligeance éclairée, et, si je puis parler ainsi, cette hospitalité littéraire, qui n'appartient qu'aux cœurs bien nés et aux esprits supérieurs. Je désire que cet écrit, par lequel je voulais me rendre, auprès de mes compatriotes, l'apologiste de travaux honorables pour l'Angleterre, soit jugé par les savans et les artistes de cette contrée comme un gage anticipé de ma reconnaissance.

Un géomètre dont les découvertes, les vues, et les conseils ont fait faire les plus grands pas aux sciences physiques et mathématiques, M. de Laplace, ayant fixé son attention sur les perfectionnements que les Anglais ont introduit dans la structure de leurs vaisseaux, a senti que ces perfectionnements pouvaient avoir des conséquences importantes pour les progrès de l'ar et conduire à de nouvelles vues théoriques, qui devinssent la source de changements plus grands encore.

Il a bien voulu m'inviter à faire un examen raisonné des innovations accueillies par un gouvernement étranger, qui, généralement, voit si bien sur ses vrais intérêts. Tel est l'objet du travail dont nous rapporterons ici les seuls résultats qui puissent être d'un intérêt général pour les marines de différents peuples.

M. l'ingénieur SEPPINGS a fait adopter un moyen de donner à la charpente des vaisseaux une force nouvelle, tant pour résister à la flexion que pour résister à la rupture. Il ne s'agit point ici d'une vague spéculation appuyée par des raisons plus ou moins spécieuses ; l'expérience a prononcé de la manière la plus positive. Les vaisseaux le *Tremendous*, le *Ramillies*, et je crois l'*Albion*, ayant eu besoin d'un grand radoub nécessité par leur vétusté et par leur continuel service, ont été réparés conformément aux nouveaux principes, et remis en mer ; ils ont acquis plus de rigidité, plus de solidité qu'ils n'en avaient étant neufs.

Le succès de cette première tentative a porté les Lords de l'Amirauté d'Angleterre à donner des ordres pour que l'on construisit à neuf plusieurs vaisseaux d'après le même mode de structure, et ces nouveaux essais n'ont pas été moins heureux que les premiers.

Je crois devoir rapporter ici une note que j'ai découverte dans les recherches que j'ai faites à Paris pour mon Tableau de l'Architecture Navale. Cette note porte en marge ces mots : Paris, le 5 Décembre 1811. Renvoyé par ordre de l'Empereur au Ministre de la Marine.

" Lond. 29 Nov. 1811. M. SEPPINGS, ingénieur construc-
" teur du chantier de Chatham, a découvert un nouveau mode
" de construction pour les vaisseaux de guerre, qui promet

" plusieurs avantages importants. Son plan a été soumis " mercredi dernier, à l'Amirauté, à l'examen d'un comité " particulier composé des hommes les plus distingués par " leurs connaissances théoriques ou pratiques dans l'art de la " construction, et parmi lesquels se trouvaient Sir J. Banks, " le Dr. Wollaston, le Dr. Young, M. Rennie, ingénieur, " le Général Bentham, M. Smirke, architecte, le Capitaine " Huddart, &c. qui ont en général approuvé les principes " du nouveau mode et ont, nous n'en doutons pas, indiqué " à l'auteur les améliorations qu'ont pu leur suggérer leurs " connaissances et leur expérience scientifique. Par ce nou- " veau mode de construction on se procure une économie " très considérable de bois de chêne (de 100 à 190 gros " arbres pour la construction d'un vaisseau de 74), et l'on ob- " tient plus de force et plus de durée dans leur construction. " L'essai en a été fait sur le Trémendous et a parfaitement " répondu à l'attente de l'inventeur. Non-seulement ce " vaisseau s'est montré le meilleur voilier de tous ceux qui " composaient notre escadre du nord; mais il a éprouvé plu- " sieurs coups de vent très violents, sans en souffrir au- " cunement. Pendant toute la saison ce vaisseau a été par- " faitement sain et n'a été sujet ni aux crevasses ni aux " avaries d'aucun genre.

" Nous considérons le plan de M. Seppings comme étant " de la plus haute importance pour la marine, et nous ne " doutons pas qu'il ne soit suivi d'autres améliorations dans " notre architecture navale."

Les innovations dont l'avantage est ainsi reconnu se trouvent exposées par leur auteur même dans un Mémoire inséré dans les Transactions Philosophiques de la Société Royale de

Londres, 1814; et dans un Rapport à l'Amirauté d'Angleterre, par le Dr. YOUNG, l'un des Secrétaires de cette Société. Dans ce Rapport, publié à la suite du Mémoire, le Dr. YOUNG approfondit plusieurs points importants de la théorie qui doit servir de base au systême de M. SEPPINGS.

Sans égard pour les préjugés nationaux, je m'efforcerai de rendre une entière justice à toutes les innovations, à toutes les reproductions qui me paraitront avantageuses. J'honorerai les services rendus à l'art chez un peuple étranger, comme s'ils eussent été rendus pour mon pays et par un de mes concitoyens. Mais, fidèle à cette impartialité, je revendiquerai pour les puissances maritimes autres que l'Angleterre, le droit qu'elles peuvent avoir à la priorité d'invention et de pratique dans plusieurs idées primordiales renouvellées par M. SEPPINGS.

Les anciens constructeurs français avaient si bien reconnu la vérité du principe reproduit ici par M. SEPPINGS, qu'ils l'avaient mis en usage, précisément pour parvenir au même résultat de fortifier les navires et de les empêcher de *s'arquer.* Au lieu de diriger les bordages intérieurs ou vaigres, parallèlement aux bordages extérieurs, ils avaient soin, dans toute la partie de la cale qui va depuis le faux pont jusqu'aux serres d'empature, de diriger obliquement leurs vaigres suivant les diagonales des parallélogrammes formés par les membres et les bordages; ensuite les porques couvraient les vaigres obliques, et des *pièces transversales* allaient d'une porque à l'autre suivant la direction de la seconde diagonale de ces mêmes parallélogrammes.

Ce systême, maintenu par un fort chevillage, offrait certainement une très grande rigidité. Mais il avait l'inconvé-

nient d'être plus dispendieux que le systême ordinaire; les traverses obliques situées entre les porques diminuaient la capacité de la cale, déjà fort encombrée par les porques: on croyait aussi, mais à tort, que la force longitudinale du navire était diminuée par l'obliquité des vaigres: telles sont probablement les raisons qui ont fait renoncer les François à leur ancien systême.

J'ai eu entre mes mains la projection verticale de l'intérieur d'une cale, où l'on voit représentés les détails de construction que nous venons d'indiquer: le dessin original a plus d'un siècle d'antiquité; j'en dois la connaissance et la communication à M. ROLLAND, Inspecteur adjoint du Génie maritime.

On a proposé, vers le milieu du siècle passé, de croiser le vaigrage ordinaire de nos vaisseaux par des porques *obliques* en fer: c'est ce qu'on peut voir dans l'Architecture Navale de DUHAMEL.

A l'époque où l'Académie des Sciences de Paris cherchait à diriger les efforts des savans et des artistes vers le perfectionnement de la marine, elle proposa trois fois pour sujet de ses prix, l'examen des oscillations de roulis et de tangage, et la recherche des moyens de rendre la charpente des vaisseaux plus propre à supporter les efforts résultant de ces mouvements.

CHAUCHOT, ingénieur de la marine française, remporta le prix de 1755: et, dans un mémoire trop peu connu, renouvella l'idée de substituer des porques obliques aux porques ordinaires.

GROIGNARD, ingénieur plus célèbre, qui put encore concourir avec honneur pour le prix de 1759, sans l'obtenir, puisqu'il fut remporté par le grand EULER, GROIGNARD proposa, pour

la proue seulement, un systême de bordage, de membrure, et de vaigrage qui présente des parallélogrammes fortifiés par des diagonales. Cette idée d'ailleurs ne resta point en pure spéculation, puisqu'en 1772, CLAIRON DES LAURIERS, autre ingénieur français très estimé, la mit en pratique dans la construction de la frégate l'*Oiseau*.

BOUGUER, dans son traité du Navire, et, plus tard, CHAPMAN, ingénieur Suedois, dans son *Architectura navalis mercatoria*, ont basé sur le principe reproduit par M. SEPPINGS les moyens qu'ils proposent pour donner aux vaisseaux plus de rigidité. Les ponts d'un navire, vu leur peu de courbure longitudinale, peuvent être regardés comme parallèles à la pièce intérieure placée au-dessus de la quille (la carlingue); les étançons verticaux qui supportent les ponts à l'aplomb de la carlingue forment donc avec elle et la ligne du milieu des ponts, des quadrilatères presque parallélogrammiques.

Pour empêcher ces parallélogrammes de se déformer, et parconséquent pour empêcher le vaisseau de s'arquer, BOUGUER a placé, suivant la direction de la diagonale qui tend à s'alonger, des barres de fer fortement unies, par leurs extrémités, à la carlingue et au premier pont. Ces barres ressemblent aux *tirants* des édifices ordinaires.

CHAPMAN, au contraire, a placé suivant la direction des secondes diagonales (qui tendent à se raccourcir), des pièces de bois bien contenues sur la carlingue et sous le premier pont: ces pièces de bois, qui résistent en s'opposant à toute compression, font office *d'arc-boutants*.

Il faut conclure des développements historiques dans lesquels nous venons d'entrer, que le principe employé par M. SEPPINGS n'est nouveau ni dans la pratique, ni dans la

théorie. Mais nous n'en devons pas moins beaucoup de reconnaissance à l'homme ingénieux qui régénérant d'anciennes idées, les a dégagées de leurs inconvénients les plus graves, se les est appropriées par des modifications essentielles, et, ce qui certes n'était pas moins difficile, est parvenu à triompher de tous les obstacles qui pouvaient entrâver, empêcher même, la mise en pratique de ses utiles conceptions : essayons de les faire connaitre.

On peut reduire à quatre points principaux les innovations de M. SEPPINGS. 1°. Remplissage de toutes les mailles au-dessous du faux pont. 2°. Suppression du vaigrage. 3° Remplacement des porques directes par des porques obliques et croisées. 4° Liaison des ponts avec le bord par des poteaux montants, une ceinture, et des courbes en fer ; obliquités opposées du bordage des ponts et des lattes qui les supportent entre les baux.

Nous allons examiner séparément chacun des trois premiers articles, qui sont tout-à-fait indépendants du quatrième. Ce dernier étant beaucoup moins important que les autres nous en supprimerons l'examen.

I. *Du remplissage des mailles.*

Remplir la membrure entre les mailles pour fortifier la charpente des navires, n'est point une idée nouvelle. GROIGNARD l'a proposé dans son mémoire, et cet habile ingénieur a très bien fait sentir les avantages de ces moyens employés pour le *petit fond* de la carène : on peut même dire que M. SEPPINGS n'a fait que reproduire dans son mémoire les motifs développés par GROIGNARD à ce sujet.

Seulement GROIGNARD se borne à remplir les mailles dans la

partie la plus basse de la carène; M. SEPPINGS étend ce remplissage jusqu'à la hauteur du faux pont, et j'avoue que je voudrais l'étendre jusqu'au plat-bord, afin de rendre la muraille des vaisseaux moins facile à traverser par les boulets: en cela je remplirais le vœu des marins les plus habiles.

M. SEPPINGS garnit chaque maille avec des languettes de bois frappées, les unes en dedans, les autres en dehors de la membrure. GROIGNARD ne voulait qu'une seule pièce de remplissage ayant sur le tour l'épaisseur de la membrure, constamment introduite du dehors en dedans, un peu taillée en coin et frappée avec force pour la faire arriver à sa place. Par ce moyen il donnait à la surface inférieure de la carène une tendance à se courber en sens contraire de l'arc que le vaisseau tend à prendre lorsqu'il est à la mer.

Quelle que soit la dessication des bois employés pour la membrure et le remplissage des mailles, si l'on ne se hâte d'appliquer les bordages, il est à craindre que les bois ne se desséchent d'avantage par leur contact avec l'air. Si donc le remplissage n'avait juste que la dimension de la maille, au moindre retrait causé par la dessication, il y aurait vide entre les membres et le remplissage. On aurait ainsi perdu le principal avantage qu'on s'était proposé d'atteindre. Au contraire, si les bois sont fortement comprimés, ils pourront tendre à se resserrer sur eux-mêmes, sans cesser de se toucher, et de former une masse continue par tout également résistante.

Si nous voulons nous former une idée juste des avantages du remplissage pour conserver aux vaisseaux leur forme longitudinale primitive, observons que quand le vaisseau s'arque dans le sens de sa longueur, la partie inférieure de sa carène se raccourcit. Il y a donc un grand avantage à ne laisser

aucun vide entre les membres dans cette partie. Alors, en effet, ce raccourcissement, au lieu de s'opérer par le rétrécissement des mailles inoccupées, s'opère par la compression de pièces de bois contigues, ce qui présente une résistance beaucoup plus grande à vaincre.

En outre, le boisage du petit fond résistant par sa masse, son chevillage n'est plus fatigué par la production d'un grand arc; la membrure et les bordages ne sont plus déchirés par les clous, les chevilles, et les gournables qui les unissent.

Si l'on remplissait les mailles au-dessus de la flottaison, ce nouveau remplissage s'opposerait au contre-arc avec la même efficacité que le remplissage des mailles inférieures s'oppose à l'arc. Mais par ce moyen on chargerait trop les hauts du vaisseau. Il faudrait peut-être se borner à remplir les mailles, selon notre usage, par le travers des diverses préceintes.

Pour concevoir l'utilité des forces qui s'opposent au contre-arc; il faut se figurer que dans une mer fortement houleuse, où le vaisseau se présente debout à la lame, lorsque cette lame soulève la proue, elle tend à produire en cette partie, elle y produit effectivement, un contre-arc; ce contre-arc s'avance avec la lame et ne disparait que quand elle a cessé de soulever la pouppe. Ainsi le vaisseau lui-même a des ondulations analogues à celle de la mer; mais seulement incomparablement moins grandes.

Il est évident que dans un échouage, une membrure pleine se rompra beaucoup moins facilement qu'une membrure à mailles vides.

M. SEPPINGS ayant l'attention de calfater les coutures entre les mailles et leur remplissage, c'est une seconde barrière

qu'il oppose aux filtrations de l'eau. Parconséquent, lors même qu'un des bordages de la carène viendrait à larguer, non-seulement l'eau ne pourrait plus entrer avec cette effrayante abondance que permet la largeur des mailles actuelles; l'eau trouverait autant de difficultés à passer dans les mailles qu'elle en trouve maintenant à pénétrer entre les bordages. Concluons donc que par le moyen employé par M. SEPPINGS, les pompes ordinaires du vaisseau suffiront pour épuiser les eaux dans beaucoup de cas où le batiment serait perdu sans ressource, si la voie d'eau tombait par le travers de quelque maille vide.

Observons encore que le bordage extérieur, portant partout sur du plein bois, est mieux assuré, plus fort, son calfatage a plus de tenue; parce que l'étoupe, avec quelque vigueur qu'on l'enfonce, trouve partout une résistance qui l'empêche de s'échapper par l'intérieur de la couture. Cet avantage est d'autant plus grand que, par le desséchement des bordages ou par le *jeu* du batiment, les coutures sont devenues plus larges.

Mais pourquoi M. SEPPINGS arrête-t-il son remplissage à la hauteur du faux pont? c'est, à coup sûr, dans la crainte de charger son vaisseau par des poids surabondants, et de diminuer ainsi la stabilité. Cependant ces légers inconvénients sont-ils balancés par les graves dangers qu'on éviterait en poussant le remplissage jusqu'à la hauteur du premier pont?

La ligne du faux pont étant presque d'un mètre au-dessous de la flottaison, toutes les voies que l'eau pourra s'ouvrir entre les bordages, dans cette hauteur, trouveront des mailles qui leur offriront une entrée immédiate.

C'est surtout pendant la durée d'un combat que les voies

d'eau dont nous parlons, peuvent être dangereuses : arrêtons nous sur cet objet important.

Il est évident qu'un bordage dont tous les points sont soutenus par une membrure résistera plus à un choc donné, qu'un bordage soutenu par des membres isolés, et surtout si la direction du choc passe par quelque maille.

Il est évident, par exemple, qu'un boulet ayant encore assez de force pour percer un bordage vis à vis une maille, pourrait n'en avoir pas assez, si le bordage étoit soutenu derrière le point choqué. A plus forte raison, si le boulet, après avoir traversé le bordage, trouve un remplissage massif deux fois à deux fois et demi plus épais que ce bordage.

Considérons un vaisseau qui combat sous le vent et qui donne fortement à la bande ; toute la ligne de son faux pont du côté de l'ennemi se trouve émergée, les boulets qui frappent depuis cette ligne jusqu'à la première batterie, trouvant peu de résistance par la viduité des mailles, cribleront à jour cette partie. Lorsqu'ensuite le vaisseau sera forcé de virer de bord, ces ouvertures s'enfonçant tout-à-coup dans l'eau, le navire coulera bas, sans qu'il soit possible de le sauver.

Ce danger n'est point imaginaire, puisque malgré notre vaigrage entre le faux pont et le premier pont, on a vu fréquemment des vaisseaux couler ainsi, en virant de bord après avoir été maltraités lorsqu'ils combattaient sous le vent. Donc *il faut continuer le remplissage des mailles jusqu'au premier pont*.

Alors les voies d'eau formées par les boulets étant des trous cylindriques percés partout en plein bois, ils se refermeront plus facilement par la réaction d'un plus grand nombre de fibres ligneuses comprimées dans un espace donné ;

et si, par cette réaction, ces trous sont bouchés dans une seule partie de leur longueur, le passage de l'eau devient intercepté.

Nous examinerons avec détail l'influence du remplissage des mailles et de toutes les autres innovations, sur la stabilité du navire et ses autres qualités. Maintenant il nous suffit de dire que même en continuant ce remplissage jusqu'au premier pont, son centre de gravité se trouve de beaucoup au-dessous du centre de gravité du vaisseau. C'est un poids additionel avantageusement placé, qui permet d'augmente la stabilité qu'ont maintenant les vaisseaux, quoiqu'en diminuant la quantité de lest dont ils ont besoin.

Dans la structure actuelle de nos batiments, nous remplissons à très peu près la membrure dans les parties extrêmes de la pouppe et de la proue. Par-conséquent nous n'ajouterons rien aux parties qu'il importe d'alléger, et par le nouveau remplissage, nous augmenterons la force de la charpente dans ses parties les plus faibles: c'est le principe de toute bonne architecture.

Considérons maintenant les mailles sous le point de vue de la durée du navire et de sa salubrité.

Les mailles ouvertes, disent leur partisans, permettent à l'air de la cale de les suivre comme des canaux, et par là de se renouveller. Ce mouvement de l'air et son contact avec les bordages, les membres, et les vaigres empêche leur échauffement et leur donne une plus grande durée.

On répond à ces objections: lorsqu'un navire a servi quelque temps, les mailles s'obstruent, l'air n'y circule plus librement; celui qui s'en émane étant imprégné des miasmes fournis par les immondices accumulés dans ces mailles, cet air fétide ne peut qu'altérer la santé de l'équipage.

S'il est vrai que la cause la plus puissante du dépérissement des bois est leur contact alternatif avec l'air et l'eau, les mailles n'étant que rarement exemptes d'infiltrations plus ou moins abondantes, cette alternative ne doit-elle pas tendre à la destruction des bois, au moins autant que leur simple contact ?

M. Seppings cherche à prouver que des bois en contact se conservent aussi bien que des bois isolés ; cela peut être quand ils sont bien desséchés et parfaitement sains ; mais il faut avouer que dès qu'une des pièces de bois en contact contient un germe de décomposition, elle se communique rapidement à l'autre pièce.

Il faudrait pour éviter cet inconvénient, laisser la membrure du vaisseau monteé en bois tors, sécher pendant un temps suffisant ; préparer d'avance les garnitures des mailles en leur laissant un excédent d'épaisseur suffisant pour fournir au retrait du dessèchement ; ne placer ces garnitures qu'au moment de border le vaisseau ; les sécher d'abord dans une étuve ayant à-peu-près 50 à 60 degrés de chaleur ; les plonger tout chauds dans le goudron, et les laisser très lentement refroidir.

Je suis persuadé qu'avec ces précautions, qu'il serait facile de rendre peu dispendieuses, et qu'il ne faudrait d'ailleurs employer que pour garnir les mailles deux mètres au-dessus et deux mètres au-dessous du faux pont, on previendrait les dangers de la fermentation des bois produite par l'effet du contact immédiat des pièces.

Avant de terminer cette première discussion, je crois devoir citer un fait intéressant, consigné par le Dr. Young dans son Rapport, p. 335. Transact. Philosophiques de 1814.

“ Il ne semble pas qu'il y ait le plus léger fondement à

" craindre que le remplissage rende la membrure des vais-
" seaux plus facile à dépérir. Au contraire, les membres
" du *Sandwich* ont été trouvés parfaitement sains dans la
" *moitié inférieure* de leur longueur, en contact avec les coins
" qui ont été chassés entr'eux, et complétement gâtés dans
" la moitié *supérieure* qui avait été exposée, selon la méthode
" ordinaire, à l'action de l'air humide emprisonné, et de l'eau.
" Ce résultat est parfaitement d'accord avec le petit nombre
" de faits qui ont été certifiés, rélativement aux causes géné-
" rales du dépérissement des bois."

II. *Suppression du vaigrage.*

En supprimant tout-à-fait les vaigres au-dessous du faux pont, M. Seppings met à découvert la face des membres qui se trouvait en contact avec elles. Cela permet d'ailleurs de s'assurer à tout instant s'ils ne sont ni mal liés, ni brisés, ni détériorés, &c.

Les travaux de radoub deviennent en même temps beaucoup plus faciles, lorsqu'il faut toucher à la membrure. Il suffit d'enlever la garniture des mailles dans la partie qu'on veut réparer, ce qui est bien plutôt exécuté que de *dévaigrer* dans une grande étendue.

La superficie des membres mise à découvert par la suppression des vaigres est égale à la superficie enlevée au contact de l'air par le remplissage entre les mailles. Les inconvénients qui pourraient résulter du contact des bois étant en raison des surfaces en contact, ces inconvénients ne sont donc pas augmentés quant à la membrure.

Mais dès qu'on désarrime le vaisseau, l'air peut immédiatement frapper l'intérieur des couples, ce qui vaut infiniment

mieux que de circuler avec lenteur par des mailles qui sont rarement desobstruées.

Observons d'ailleurs que les clefs frappées dans les mailles au raz des vaigres d'empature, empêchent tout courant d'air de s'établir entre les membres du petit fond ; et néanmoins on convient que c'est dans cette partie que la membrure se conserve le mieux.

Le poids du vaigrage étant considérable, sa suppression a sur le déplacement et la stabilité des effets importants que nous développerons, et qui tous tendent à donner au vaisseau des qualités nouvelles.

La suppression du vaigrage permet de trouver immédiatement le lieu d'une voie d'eau, dont l'existence est manifestée par l'accroissement subit dans les eaux de la cale. Actuellement, au contraire, il faut d'abord deviner dans quelle maille est la voie; puis dans quel point de la maille : enfin, il reste la difficulté assez grande de boucher une voie qu'on ne peut atteindre immédiatement.

En prolongeant le remplissage des mailles jusqu'à la hauteur du premier pont, ainsi que nous le proposons, le vaigrage entre ce pont et le faux pont n'aura plus cet inconvénient, et nous avouons qu'il nous parait nécessaire de conserver cette partie du vaigrage.

Mais au lieu de lui donner, comme le fait M. SEPPINGS, une direction longitudinale, je lui donnerais une direction parallèle à celle des porques obliques prolongées jusques au premier pont. Je ferais descendre ces vaigres obliques à deux mètres sous la flottaison, et pour un vaisseau de 74 je leur donnerais seulement 11 centimètres d'épaisseur, ainsi qu'à la partie correspondante des porques obliques.

Ensuite, pour renforcer ce système, je considérerais les parallélogrammes que forment ces vaigres entre deux porques obliques immédiatement consécutives, et je poserais suivant la direction de la petite diagonale de ces parallélogrammes, une bande de fer ayant un décimètre de largeur sur deux centimètres d'épaisseur. Enfin, cette bande fortement unie à ses extrémités aux porques contre lesquelles elle aboutit, serait fixée par un clou sur chaque vaigre et une cheville à écrou, vers son milieu.

Sur ce vaigrage j'appliquerais la ceinture du premier pont et celle du faux pont, que j'entaillerais de deux centimètres dans ce vaigrage. Chaque vaigre oblique, dans une étendue de trois mètres seulement, serait donc engagée invariablement à chaque bout par ces ceintures, et à son milieu par une traverse en fer. Aucun boulet ne pourrait arracher ces vaigres, et la résistance qu'elles présenteraient serait incomparablement plus grande que celle des vaigres actuelles, qui ne résistent au boulet que par l'adhérence de leur clouage. En effet, un boulet ayant assez de force pour vaincre cette adhérence, s'il n'en a pas assez pour percer la vaigre qu'il frappe, la détache et l'enlève en éclats. C'est ce qui nous explique ce fait d'expérience, que les boulets qui font le plus de mal à bord sont ceux qui viennent avec une vitesse suffisante pour traverser le bordage extérieur et la membrure, et s'amortir contre les vaigres.

Il est évident que des vaigres presque droites et longues seulement de trois à quatre mètres sont des bois de troisième et quatrième espèce, beaucoup moins chers, et beaucoup plus faciles à trouver que les vaigres principales que nous appellons

vaigres de diminution. Ce surcroit de dépense occasionné par 40 ou 50 bandes de fer serait bien plus que compensé par cette économie.

III. *Remplacement des porques ordinaires par des porques obliques.*

Le remplacement des porques ordinaires par des porques obliques complétant le nouveau systême de la charpente de la carène, nous allons maintenant nous élever à des considérations plus générales, et comparer les avantages et les inconvénients de ce systeme, envisagé dans les rapports de ses diverses parties.

Afin de mettre de l'ordre dans ces recherches nous traitons séparément les questions suivantes, qui semblent renfermer toutes les raisons essentielles pour ou contre les perfectionnements dont nous proposons l'adoption.

1°. D'après le nouveau systême, le poids du navire est-il diminué ?

2°. La construction du navire est-elle moins dispendieuse ?

3°. Les capacités de la cale sont-elles augmentées, et quel usage peut-on faire de cet accroissement d'espace ?

4°. La stabilité du navire peut-elle être rendue plus grande qu'elle n'est actuellement ?

5°. Les forces latentes du vaisseau sont-elles augmentées ?

6°. La durée du vaisseau se trouve-t-elle pareillement augmentée ?

La solution des quatre premières questions ne dépendant que de calculs simples et faciles, basés sur les données de la Marine pour laquelle on opère, nous supprimons ici ces détails, parce que nous sommes forcés d'abréger cet écrit pour

le réduire à l'étendue d'un mémoire ordinaire. Nous nous contentons de dire que les résultats de ces calculs sont tous en faveur du systême de M. Seppings.

Maintenant nous allons présenter la discussion théorique des deux derniers articles.

CINQUIÈME QUESTION DU § III.

Par le nouveau systême, les forces latentes du vaisseau sont-elles augmentées?

J'appelle *forces latentes* d'un vaisseau, les résistances qu'il oppose à tout changement d'état, et qui ne manifestent leur existence que par le fait même de ces changements.

Ainsi l'inertie est une des forces latentes du vaisseau.

La rigidité, cette résistance que le vaisseau oppose à toute flexion, est encore une des forces latentes, ou plutôt le résultat d'une espèce particulière de forces latentes.

La durabilité est l'expression du résultat de ces forces, en fonction du temps.

Pour bien connaître la nature et l'action des forces latentes d'un vaisseau quelconque, il faut le supposer soumis aux forces extérieures qui peuvent agir sur lui, et voir comment, par la répartition des pressions et des tensions intérieures, ces nouvelles forces se mettent en équilibre avec les forces latentes.

La première des forces extérieures est l'attraction que le globe exerce sur le vaisseau: cette attraction étant directement proportionelle à la masse de chaque partie, elle entraînerait le tout, sans mettre en action d'autre force latente que l'inertie, si le vaisseau n'était retenu par aucun obstacle.

Mais lorsqu'un navire est a flot sur une mer tranquille et qu'il n'est pas sollicité par d'autre force extérieure que sa pesanteur, il se met bientôt en équilibre, et les répulsions du fluide dirigées de bas en haut détruisent les pressions de la pesanteur exercées de haut en bas.

Si chaque élément du vaisseau reposait immediatement sur la mer, il en déplacerait une partie dont le poids serait égal à son poids propre, et cet élément du vaisseau n'aurait à supporter que la pression infiniment petite que le fluide exercerait sur lui.

Mais comme il n'y a qu'une partie de la surface extérieure du vaisseau qui soit en contact avec le fluide, il faut que cette partie supporte de la part du fluide, une pression susceptible de contre-balancer le poids de la masse toute entière.

Donc premièrement la surface extérieure du vaisseau supporte des pressions verticales équivalentes a son propre poids.

Cette surface supporte en chaque point des pressions dirigées perpendiculairement, et proportionnelles à l'étendue des éléments de cette surface. Il faut donc regarder la carène d'un vaisseau comme une voute dont tous les éléments sont poussés normalement suivant des forces d'autant plus grandes que l'élément est plus grand, et plus éloigné de la base de sa voute, laquelle base est ici le plan de flottaison.

Actuellement le problème général qui doit nous occuper est celui-ci.

Quel effet les forces opposées de la pesanteur du vaisseau, et des pressions du fluide produisent-elles en se mettant en équilibre avec les forces latentes du vaisseau?

Considérons d'abord la pesanteur et les pressions verticales seulement. Si l'on pouvait diviser le navire en prismes verticaux infiniment petits, ayant chacun pour poids celui de la colonne d'eau qu'ils déplacent, chacun de ces prismes serait par lui-même en équilibre, il ne tendrait donc ni à s'écarter ni à s'approcher des autres prismes; les forces latentes qui s'opposent à ces mouvements ne seraient donc pas mises en jeu. Il n'y aurait dans chaque prisme en particulier que la pression verticale des éléments supérieurs sur les inférieurs.

Il n'en est pas ainsi dans nos vaisseaux; ni lorsqu'ils n'ont encore aucun chargement, ni lorsqu'ils sont armés. Pour découvrir suivant quelles lois varient les différences de pesanteur et de déplacement des éléments du vaisseau, considérons-le d'abord dans le sens longitudinal, et ensuite dans le sens transversal.

Pour cela divisons le vaisseau par tranches verticales d'une épaisseur constante infiniment petite, les plans coupants étant tous perpendiculaires au plan vertical longitudinal, si nous partons de la pouppe pour avancer graduellement vers la proue, nous verrons que les premières tranches comprenant le tableau d'arrière, la voute, une partie des bouteilles, &c. (parties qui sont toutes hors de l'eau), ces tranches ne sont soumises à aucune répulsion de la part du fluide.

Ensuite, cette répulsion commence; elle est d'abord infiniment plus petite que le poids de la tranche dont le déplacement produit cette répulsion; bientôt la répulsion de l'eau croissant par degrés rapides approche de plus en plus d'égaler le poids de la tranche qui lui correspond.

La répulsion de l'eau croissant toujours, devient égale

au poids d'une certaine tranche placée entre la pouppe et le milieu du vaisseau, au-delà de ce terme le poids de l'eau déplacée l'emporte sur le poids de la tranche. Si l'on part de l'extrémité la plus avancée de la proue pour rétrograder vers la pouppe, on trouvera de même que le poids des tranches est d'abord infiniment plus grand que le poids de l'eau déplacée, que ces deux poids diffèrent ensuite de moins en moins ; qu'ils deviennent égaux pour une certaine tranche placée entre la proue et le milieu du vaisseau, et qu'en s'approchant encore plus du milieu, la répulsion de l'eau déplacée l'emporte sur le poids des tranches.

Cette inégalité de poids et de répulsion met en jeu les forces latentes du navire et produit des effets dont l'examen est de la plus haute importance.

Puisque chaque tranche est sollicitée par deux forces directement opposées ; il y a d'abord tendance à la contraction dans cette tranche, et les forces qui s'opposent à cette contraction se mettent en équilibre avec cet effort. Nous reviendrons sur cette action qui s'exerce transversalement.

La résultante des deux forces opposées est égale à leur différence, et se trouve dirigée dans le sens de la plus considérable.

Si nous voulons connaître l'effet de ces résultantes, il faut partir de la pouppe, par exemple, et prendre la somme de leurs moments par rapport à l'une des sections transversales. Cette somme sera la même que celle obtenue en considérant toutes les tranches qui sont en avant de cette section. Puisque ces deux sommes représentent deux actions opposées qui se font équilibre.

Que le vaisseau soit lège, ou qu'il ait son chargement

complet, toutes les sommes des moments obtenus ainsi, présentent des actions totales exercées de haut en bas, c'est-à-dire que dans tous les points de la longueur du navire, il est sollicité à se courber en tournant vers le bas la concavité de cette courbure. Ainsi l'arc des vaisseaux règne dans toute leur longueur.

Le vaisseau n'étant pas un corps parfaitement rigide, chacun de ces moments aura son effet, et la courbure que nous venons de définir s'étendra de la pouppe à la proue.

Mais ces moments n'ayant pas une valeur constante, on doit se demander par rapport à quels plans il faut les prendre pour qu'ils soient *un maximum* ou *un minimum*; car il est évident que pour proportionner les forces latentes aux forces déformatrices, il faudra multiplier les moyens de solidité dans les premières tranches beaucoup plus que dans les secondes.

Soit x* la distance de chaque partie du vaisseau au plan ver-

* Pour faciliter la complète intelligence de ce Mémoire aux personnes qui ne seraient pas familières avec les théories analytiques, nous allons procéder à la même recherche par la seule géométrie. (Pl. VI. fig. 3.) Soit Dk une axe horizontal mené dans le vaisseau, depuis la pouppe jusqu'à la proue. Supposons la courbe $Dbaon$ telle que les verticales Bb, Aa .... à partir de Dk comprennent des espaces $Aa\,bB$ qui représentent le poids des tranches verticales du vaisseau. Supposons de même que $A\alpha$, βB, prolongements de Aa, Bb, se terminent à la courbe $E\beta\alpha\omega\nu$ telle que l'aire $A\alpha\,\beta B$ représente constamment le poids de l'eau déplacée par la tranche dont le poids propre est représenté par $Aa\,bB$. Enfin soit $oO\omega$ la droite qui représente le plan vertical par rapport auquel il faut que les moments soient un maximum ou un minimum: estimons ces moments.

G, Γ étant les centres de gravité des aires DOo, $EO\omega$, le moment des poids du vaisseau (à gauche de $oO\omega$) sera ... Surf. $DOo \times GG'$; et le moment de l'eau déplacée (à gauche de Oo) sera ... Surf. $EO\omega \times \Gamma\Gamma'$: expressions ou GG', $\Gamma\Gamma'$ représentent les distances de $oO\omega$ aux centres G et Γ.

Le moment de la force qui tend à rompre le vaisseau dans le plan $oO\omega$, à gauche de $oO\omega$ par conséquent aussi à droites, est donc

tical quelconque pris pour plan des moments. Soit dx l'épaisseur constante des tranches infiniment minces et parallèles à ce plan, soit $\varphi(x)\,dx$ le poids de ces tranches et $\psi(x)\,dx$ le poids de l'eau qu'elles déplacent ; le moment total de ces deux forces sera....

$$x.\varphi(x).dx - x\,\psi(x).dx.$$

et par conséquent l'intégrale totale de ces moments sera

$$\int\left\{x.\varphi(x).dx - x\,\psi(x).dx\right\}$$

D'après les principes du calcul infinitésimal, pour que cette grandeur soit un maximum ou un minimum, il faut qu'en faisant varier infiniment peu l'origine des x, la somme des moments ne change pas pour cela, en négligeant seulement les infiniment petits d'un ordre supérieur à la quantité dont on fait avancer ou reculer l'origine des x.

Soit δx cette dernière quantité, c'est-à-dire, la variation que toutes les ordonnées horizontales éprouvent à la fois, nous aurons immédiatement

$$\delta\int\left\{x\,.\,\varphi(x)\,.\,dx - x\,.\,\psi(x)\,.\,dx\right\} = o$$

Surf. $DOo \times GG'$—Surf, $EO\omega\,\Gamma\Gamma'$.

Pour que cette valeur soit un maximum ou un minimum, il faut qu'en prenant les moments par rapport au plan $nN\nu$, parallèle à $oO\omega$, et infiniment près de lui la différence soit nulle. Or cette différence est évidemment

$$ON\ (\text{surf. } DOo - \text{surf. } EO\omega) + \tfrac{1}{2}\,ON\ (\text{surf. } O\,on\,N - \text{surf. } O\omega\nu\,N).$$

les surfaces $OonN$, $O\omega\nu N$ étant infiniment petites ainsi que ON, les deux derniers termes de cette valeur disparaissent devant les deux premiers. On a donc enfin pour condition du maximum ou du minimum des moments

$$ON\ (\text{surf. } DOo - \text{surf. } EO\omega) = o, \text{ ou surf. } DOo = \text{surf. } Eo\omega.$$

ce qui veut dire que le poids de la partie du vaisseau à gauche de $oO\omega$ doit être égal au poids de l'eau déplacée par cette partie.

Dans le cas où ON (surf. DOo—surf. $EO\omega$) est positif, ce qui est celui de nos vaisseaux de guerre, il est évident que le poids de la tranche du vaisseau $oON\nu$ étant plus grand ou plus petit que le poids de l'eau déplacée par cette tranche, le moment pris par rapport à $oO\omega$ est un minimum ou un maximum

Dans cette expression, chacune des anciennes tranches ne changeant pas de poids, $\varphi(x)$ et $\psi(x)$ restent constantes, ainsi que l'épaisseur dx de ces tranches. Seulement en reculant de δx le plan par rapport auquel se prennent les moments, on ajoute la tranche dont $\varphi(\delta x)$ représente le poids et $\psi(\delta x)$ le déplacement.

On a donc enfin

$$o = \delta \int \{\varphi(x) - \psi(x)\} \, x \, dx = \int \Big\{ \tfrac{1}{2} \big[\varphi(\delta x) - \psi(dx)\big] + \big[\varphi(x) - \psi(x\big] \Big\} \, dx \, . \, \delta x.$$

Mais si l'on observe que $\varphi(x)$ et $\psi(x)$ deviennent nuls lors qu'on fait $x = o$, puisque ces expressions correspondent au poids et au déplacement d'une tranche nulle, on verra que $\varphi(\delta x) - \psi(\delta x)$ est un infiniment petit par rapport à $\varphi(x) - \psi(x)$.

Le produit $\frac{1}{2}\big[\varphi(\delta x) - \psi(\delta x)\big] \, dx \, . \, \delta x$ doit donc être négligé, lorsqu'on s'arrête aux infiniment petits de l'ordre le moins inférieur. Donc enfin nous avons pour condition du maximum ou du minimum des moments qui tendent à produire l'arc.

$$o = \int \{\varphi(x) - \psi(x)\} \, dx \, . \, \delta x,$$

ou

$$o = \delta x \int \{\varphi(x) - \psi(x)\} \, . \, dx;$$

$\int \varphi(x) \, dx$ est le poids total des tranches que nous considérons $\int \psi(x) \, . \, dx$ est le poids du déplacement total des mêmes tranches.

Donc enfin cette équation de condition nous apprend que la somme des moments qui tendent à produire l'arc, est un maximum ou un minimum, lorsque le poids de la partie du navire en avant ou en arrière du plan origine des moments est égale au poids de l'eau déplacée par cette partie du navire.

Maintenant rien n'est plus facile que de distinguer les maxima des minima; suivant en effet que le terme négligé sera de même signe ou de signe différent que le moment total $\int [\varphi(x) - \psi(x)]\, x \,.\, dx$, la somme des moments par rapport au plan déterminé sera un *minimum* ou un *maximum*.

Mais $\varphi'(\delta x) \,.\, \delta x$ est le poids de la tranche ayant δx pour épaisseur, et de même $\psi(\delta x)\, \delta x$ est le poids de l'eau déplacée par cette tranche, la quantité $\frac{1}{2}\, [\varphi(\delta x) - \psi(\delta x)] \,.\, \delta x \,.\, dx$ sera donc positive ou négative, suivant que le poids de la tranche infiniment mince à partir du plan origine des moments, sera plus grand ou plus petit que le poids de l'eau déplacée par cette tranche: de là nous concluons les théorèmes suivants.

I. Lorsqu'un plan vertical coupe un navire en deux parties telles que le poids de chacune égale le poids de l'eau qu'elle déplace; le moment de ces parties par rapport à ce plan, pour produire ou flexion ou rupture est *un maximum* ou *un minimum*.

II. Il est *un maximum* lorsque la tranche infiniment mince contigue au plan des moments, a son moment propre dirigé en sens contraire du moment total.

III. Il est *un minimum* lorsque cette tranche a son moment propre agissant dans le même sens que le moment total.

Ces résultats, remarquables pour leur généralité et leur simplicité, peuvent s'appliquer immédiatement au vaisseau divisé par tranches parallèles au maitre couple, lorsqu'on connait le poids et le déplacement de ces tranches. Nous allons en donner un exemple en choisissant le vaisseau Anglais de 74 pour lequel le Dr. YOUNG présente les données suivantes.

Equilibre sur la mer, d'un 74 Anglais ayant 176 p. de long sur 47,5 p. de large.

Longueur prise à partir de l'arrière de la flottaison.	Poids des tranches qui correspondent à ces longueurs.	Déplacement de ces tranches.	Différence des poids aux déplacements.
49	+ 699	— 627	+ 72
20	+ 297	— 405	— 108
50	+ 1216	— 1098	+ 118
20	+ 290	— 409	— 119
37	+ 498	— 461	+ 37
176	+ 3000	— 3000	= 000

Pour repartir uniformement les différences positives et négatives entre le poids de ces tranches et leur déplacement, le Dr. YOUNG fait diverses hypothèses que nous allons rendre sensibles par le moyen d'une figure géométrique. (Pl. VI. fig. 4.) Supposons que la droite AO ait d'étendue, les 176 pieds de longueur du vaisseau, mesurés à la flottaison; que de plus on ait,

AC = 49

CE = 20	AE = 69	Surf. ABC = + 72	$Ab = \frac{1}{3}AC$	$= \frac{1}{3}$ 49		= 16,3
EG = 50	AG = 119	Surf. CDE = — 108	$Ad =$ AC + $\frac{1}{2}$ CE =	49	+ 10	= 59
GH = 6,6	AH = 125,6	Surf. EFG = + 118	$Af =$ AE + $\frac{1}{2}$ EG =	69	+ 25	= 94
HK = 13,4	AK = 139	Surf. HIK = — 119	$Ar =$ AH + $\frac{2}{3}$ HK =	125,6	+ 8,9	= 134,5
KM = 17,5	AM = 156,5	Surf. IKM = — 155	$As =$ AK + $\frac{1}{3}$ KM =	139	+ 5,8	= 144,8
MO = 19,5	AO = 176	Surf. MNO = + 192	$An =$ AM + $\frac{2}{3}$ MO =	156,5	+ 13	= 169,5

Par ces hypothèses et ces calculs, ainsi qu'il est facile de le voir, les triangles ABC, CDE, EFG, HIK, IKM, MNO, représentent les différences positives et negatives, du poids des tranches au poids de l'eau déplacée; et les distances A*b*, A*d*, A*f*, A*r*, A*s*, A*n*, sont les distances respectives de l'origine des ordonnées horizontales aux centres de gravité de ces triangles.*

* Il est évident que ces centres de gravité sont déterminés dans l'hypothèse que ABC, HIK et KIM, MON sont rectangles; tandis que CDE, EFG sont isocèles.

Cette construction donne immédiatement pour condition d'équilibre entre les pressions et les répulsions,

$$o = 72^{T} \times 16,^{p}3 - 108^{T} \times 59^{pi} + 118^{T} \times 94^{pi} - 119^{T} \times 134^{p},5 - 155^{T} \times 144^{p},8 + 192^{T} \times 169^{p},5.$$

Par ce moyen les aires des triangles, divisés en tranches verticales de telle épaisseur qu'on voudra, représenteront la continuité des différences entre le poids des tranches et le poids de l'eau déplacée par elles.

Observons neanmoins que le triangle EFG, dont la base est de 50 pieds, ne doit pas être isocèle comme le suppose le Dr. YOUNG. Le sommet de ce triangle étant le point où le poids l'emporte le plus sur le déplacement, ce point correspond évidemment à la position du grand mât qui se trouve dans cette tranche, et fait peser sur un seul point son gréments, ses mats supérieurs, les vergues et les voiles qui en dépendent. Or, le milieu Φ du navire est à $\frac{176}{2} = 88^{pi}$ du point A: donc $A\Phi - AE = 88 - 69 = 11$; mais le grand mât est en arrière du milieu et par conséquent plus voisin de A que Φ. Le sommet du triangle CDE se trouve donc trop en avant d'au moins 13 pieds Anglais.

Observons encore que pour rendre nulle la valeur des moments qu'il a calculés, le Dr. YOUNG est obligé de transformer la différence + 37 ton, du poids de la proue à son déplacement, en $-155 + 192 = 37$, hypothèse qui démontre l'inexactitude des données qui ont été fournies à ce savant.

Quoiqu'il en soit de ces données, servons nous des hypothèses du Dr. YOUNG, pour montrer avec quelle facilité peuvent s'appliquer les théorèmes que nous avons fait connaître.

Reprenons les différences ABC = 72, CDE = — 108; EFG = 118; HIK = — 119, IKM = — 155, MNO = 192. Pour trouver les plans par rapport auxquels les moments des forces exprimées par ces valeurs sont en somme un maximum ou un minimum, il faut dans la fig. citée mener des perpendiculaires à AO, telles qu'elles interceptent, à droite par exemple, des aires positives et des aires négatives égales. Et d'abord puisque CDE = — 108 et ABC = 72, je puis mener dans CDE la droite Pp, telle que $CDPp = -72$. J'aurai donc immédiatement $EPp = 36$, et par suite, $DdE = \frac{108}{2} : PpE =$

$36 :: dE^2 = (10)^2 : Ep^2 = 2 . \frac{36.100}{108} ..... Ep = 6.10\sqrt{\frac{1}{54}} = 8,15.$

Donc $Ap = AE - 8,15 = 69 - 8,15 = 60,85$.

Maintenant prenons les moments de ABC et de $CDPp =$ $CDE - EPp$, par rapport à Pp nous aurons....

$pb = Ap - Ab = 60,85 - 16,3 = 44,55 ..... \times$	$72^T =$	$+ 3207,60$
$pd = dE - pE = 10 - 8,15 = 1,85 ... \times - 108 =$		$- 199.80$
$\frac{1}{3}pE = 2,72 ...... \times - 36 =$		$- 97.80$
Résultat	=	$3207,60 - 297,60$

On voit qu'ici le moment definitif est $3207,60 - 297,77 = 2910$ quantité positive, et qui tend à faire tomber l'extrémité de la poupe.

Si nous observons que les tranches infiniment voisines de Pp pèsent moins que leur déplacement, nous verrons que le moment produit par ces tranches tend au contraire à relever la poupe. Ce moment agissant en sens contraire du précédent, il faut d'abord en conclure que le moment positif 2910 est un *maximum*.

Si maintenant nous passons aux tranches comprises depuis

E jusqu'en G; puisque l'excès du poids de ces tranches sur leur déplacement égale $+118^T > 108-72$;

Il faut en conclure que je puis couper le triangle EFG par une perpendiculaire Qq telle que $EQq = 108-72 = 36$.

En observant que $EFf = \frac{1}{2} EFG = 59$, nous aurons immédiatement cette proportion, $EFf = 59 : EQq = 36 :: Ef^2 = (25)^2 : Eq^2 = \frac{36 \times (25)^2}{59}$; d'où $Eq = \frac{6.25}{\sqrt{59}} = 19,5$; et $Aq = 88,5$.

Prenons la somme des moments par rapport à Qq, elle sera,

$$qb = Aq - Ab = 88,5 - 16\tfrac{1}{3} = 72\tfrac{1}{6} \ldots\ldots \times +\ 72 = +5196$$
$$dq = Aq - Ad = 88,5 - 59 = 29,5 \ldots\ldots \times - 108 = \qquad -3186$$
$$\tfrac{1}{3}Eq = \tfrac{19,5}{3} \ldots\ldots = 6,5 \ldots\ldots \times +\ 36 = +\ 234$$

$$qb \times 72^T + dq \times -108^T + \tfrac{1}{3}Eq \times 36^T = \ldots\ldots = +5430 - 3186$$

quantité dont la différence est positive et égale à 2244.

Mais ici le poids des tranches infiniment voisines de Qq l'emportant sur leur déplacement tend à courber le navire dans le même sens que ce moment: donc les moments qui agissent pour arquer longitudinalement le navire en Qq, à 88pi,5 de l'arrière, sont un *minimum*.

Passons ensuite aux tranches comprises depuis H jusqu'en M. Le déplacement de ces tranches l'emportant sur le poids, d'une quantité égale à $-119+155$, quantité plus grande que $72-108+118$; il faut en conclure qu'on peut couper le triangle HIM, par une perpendiculaire à la base telle que $ABC + EFG - GDE - HRr = o$, ce qui donne, $72 - 108 + 118 = HRr = 82$.

Nous aurons dans cette proportion,

$$HIK = 119 : HRr = 82 :: \overline{HK}^2 = \overline{13,4}^2 : \overline{Hr}^2 = \overline{13,4}^2 \times \frac{82}{119} = \overline{13,4}^2 \times 0,689$$

d'où $Hr = 12,37$.

Donc $Ar = AH + Hr = 125,6 + 12,37 = 137,97$.

Prenons maintenant la somme des moments par rapport à R*r*, elle sera

rb = *r*A — A*b* = 137,97 — 16,3 = 121,67..... × + 72 =	8760,24	
rd = *r*A — A*d* = 137,97 — 59 = 78,97 ... × — 108 =		— 8528,76
rf = *r*A — A*f* = 137,97 — 94 = 43,97..... × + 118 =	9188,46	
$\frac{1}{3}$*r*H = = 4,12..... × — 82 =		— 337,84
En sommes positives et négatives =	13948,70	— 8866,60

Ce qui donne en résultat définitif 5.082,10.

Ici, comme pour le plan mené par la verticale P*p*, les tranches infiniment voisines du plan par rapport auquel se prennent les moments ayant un poids inférieur à la répulsion de l'eau qu'elles déplacent, le moment de ces tranches agit en sens contraire du moment total, ainsi la somme + 5.082,10 est *un maximum* de moments. Il est évident qu'aux extrémités A et *o* la somme des moments étant nulle est un minimum. Voilà donc enfin quelle est la série des valeurs *minima* et *maxima* des moments qui tendent à faire arquer le vaisseau que nous examinons.

à zéro en A	à 60,85 = A*p*	à 88,53 = A*q*	à 137,97 = A*r*	à 176 = A*o*
Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
=	=	=	=	=
0	2.910	2.244	5.082,10	0

Le Dr. Young a calculé les moments de 22 pieds en 22 pieds, depuis l'arrière jusqu'à l'avant, et il a trouvé la série suivante.

à zéro	à 22 pi	à 44 pi	à 66 pi	à 88 pi	à 110 pi	à 132 pi	à 154 pi	à 176 pi
=	=	=	=	=	=	=	=	=
0	605,000	1.993,000	2.815,000	2.244,000	2.665,000	4.610,000	1.875,000	0

Si nous comparons nos résultats avec ceux-ci nous voyons d'abord que à 88 pieds, la somme des moments indiqués par le Dr. Young est plus forte que celle qui nous donne, à 88^{pi},53, le *minimum* des moments ; ce qui doit être en effet.

La valeur que nous avons trouvée pour les deux *maximums*

est pareillement plus considérable que les valeurs qui les avoisinent.

Le Dr. Young en calculant la valeur d'un seul maximum, (du dernier) trouve qu'il a lieu par rapport au plan qui se trouve a $141^{pi}\,\frac{1}{3}$ de l'arrière de la flottaison: cette valeur est plus forte que la notre, différence qui ne peut provenir que d'une erreur de calcul.

Effectivement si nous determinons la somme des moments à $141^{pi}\,\frac{1}{3}$ de l'arrière de la flottaison nous trouvons pour résultat 4920,3 tandis que le Dr. Young trouve 5261 tonneaux qui agissent à la distance d'un pied.

Pour nous conformer aux hypothèses de ce savant, nous avons admis qu'aux deux extrémités de la flottaison les moments fussent nuls pour faire arquer le vaisseau, cela serait vrai si les œuvres mortes du vaisseau n'avaient pas un élancement à la proue et une quête à l'étambot. Ces parties tendent à s'abaisser par leur poids et parconséquent l'arc des vaisseaux n'est pas nul aux deux extrémités de leur flottaison ; il est seulement beaucoup moindre que dans les parties intermédiaires.

J'aurais cherché à faire l'application de cette théorie au vaisseau de 74 français, si les résultats offerts par M. Missiessy dans son Arrimage, eussent été de nature à être soumis au calcul. Ce Général présente pour résultats définitifs du balancement des poids.

	Arrière.				Avant.			
	4e	3é	2e	1e	1e	2e	3e	4é
Excès du poids sur le déplacement	60T.1028	. . .	. . .	39T.1431	26T.401	. . .	. .	57.1188
Excès du déplacement sur le poids	. . .	31.1036	7T.239	. . .	. . .	39T.1849	60 384	

Or, il résulterait de ce tableau que la charge serait de 184^{T},48lb.

plus forte que le déplacement d'une part et plus faible de $138^{T}.1508$ de l'autre, choses impossibles à concilier.

A moins de supposer que les calculs de M. Missiessy diffèrent extrêmement de notre arrimage actuel, ce qui n'est pas, on doit voir que le point où les moments qui tendent à produire l'arc exercent leur maximum d'action, est dans la 3ème tranche, avant, fort près de la seconde tranche.

Si l'on réflechit que c'est vers ce point que commence le gaillard d'avant, et que finissent les passavants, on verra que ce doit être dans cette partie que la coque du navire présente la moindre résistance à l'arc, et par conséquent le courbe d'avantage: c'est donc ce point qu'il faut fortifier par tous les moyens de l'art, soit en augmentant la solidité de la coque, soit en y accumulant une plus grande quantité de poids.

Nous arrivons donc à ce résultat bien remarquable, et qui semble paradoxal, c'est que pour uniformiser l'arc et le rendre moins grand, il est avantageux de ramener dans la position intermédiaire entre le maitre couple et l'étrave, non-seulement les poids qui sont le plus vers l'avant, mais une partie de ceux qui sont voisins du maître couple.

Examinons maintenant l'effet général des mouvements qui sollicitent les deux extrémités du navire à s'abaisser. Cette déformation ne peut s'opérer que par le raccourcissement de la quille et des parties inférieures du vaisseau, et par l'alongement des parties supérieures.

Dans chaque tranche verticale la somme des résistances produites par cet alongement et ce raccourcissement aura pour expression mathématique les moments que nous avons évalués par rapport à cette tranche. Il y faudra joindre encore une

autre action que l'on néglige ordinairement comme trop peu énergique, c'est la pression horizontale et longitudinale de l'eau. Cette pression tendant à raccourcir la quille et les parties inférieures du vaisseau, tend à rendre l'arc plus considérable : c'est ce qu'a parfaitement fait voir le Dr. Young. Puisque les parties longitudinales du vaisseau s'alongent d'autant plus par l'arc qu'elles sont plus élevées, et se raccourcissent d'autant plus qu'elles sont plus basses, il faut en conclure qu'à une certaine hauteur elles ne se raccourcissent ni ne s'alongent.

Il faudrait des calculs immenses et des expériences nombreuses pour déterminer théoriquement la position de ce point de chaque tranche verticale où les parties longitudinales restent d'une longueur constante, malgré l'arc que prend le vaisseau. Mais, sans entreprendre ce travail, il est facile d'avoir des limites suffisamment approchées de la verité.

Il me semble que le plan de flottaison est à-peu-près celui qui contient les parties invariables dans leur longueur, malgré l'effet de l'arc. Si d'une part, en effet, nous supposons que la carène entière est refoulée, tandis que l'œuvre morte est tirée pour s'étendre, ces forces se balanceront sensiblement.

Si les matériaux dont est composé le navire étaient parfaitement combinés et de plus avaient une élasticité parfaite, ils exerceraient une réaction égale à l'action; ils reprendraient leurs dimensions naturelles aussitôt que la cause perturbatrice aurait suspendu son action.

Mais ces matériaux n'étant qu'imparfaitement élastiques, le vaisseau ne reprend qu'imparfaitement sa forme primitive : il faut donc considérer le vaisseau lui-même comme un corps

dont l'élasticité est imparfaite sans doute ; mais encore très réelle et très efficace.

L'expérience est ici d'accord avec la théorie, elle fait voir qu'en changeant la distribution des poids qui chargent le navire ; qu'en ajoutant d'autres poids ou qu'en supprimant quelques uns des premiers, les variations qui résultent de ces dérangements dans la valeur des moments qui font arquer le vaisseau, se manifestent par des variations très sensibles sur cet arc.

J'ai relevé l'arc d'un vaisseau lorsqu'il était encore démâté ; ensuite lorsqu'on eut placé son grand mât, enfin après qu'on eut placé son mât de mizaine, puis son beaupré, et son mât d'artimon. Le poids du grand mât diminua la flèche de cet arc, mais les autres mâts, placés vers la pouppe et la proue, augmentèrent ensuite cette même flèche. Or ici l'effet des derniers mâts est dû à la flexibilité longitudinale du vaisseau, tandis que l'effet produit par le grand mat est dû à la réaction de l'élasticité.

J'ai fait des observations d'un genre analogue sur le vaisseau à trois ponts, l'*Austerlitz*, au moment de son entrée dans le bassin de Toulon. Un bâtiment de ce rang tirant trop d'eau vers son arrière pour entrer naturellement dans le bassin, on soulève la pouppe, en plaçant sous elle un ponton qu'on fait émerger à cette partie. Cette action équivaut à supprimer une partie du poids de la pouppe ; et parconséquent à diminuer les moments qui tendent à produire l'arc : aussi cet arc diminue-t-il d'une manière considérable pendant cette opération.

On a cru pendant long-temps que l'arc très fort que prennent

les vaisseaux à l'instant de leur lancement provenait des efforts violents qu'ils avaient à supporter au moment de leur mise à l'eau en descendant sur une cale rapide. Cela est vrai lorsque cette cale ne se prolonge pas assez avant dans la mer, pour que le navire se mette de lui-même à flot avant de la quitter; mais dans tout autre cas la grandeur de l'arc n'est dûe qu'à l'extrême différence qui se trouve entre la distribution des poids et des déplacements.

En effet, dans l'armement des vaisseaux, les tranches dans lesquelles on conçoit leur longueur divisée, augmentent toutes de poids en même temps, mais plus vers le milieu que vers les extrémitès. A mesure que ce chargement avance, le déplacement des tranches extrêmes croit d'une quantité qui se rapproche de l'accroissement éprouvé par le déplacement des tranches du milieu. Les différences des poids au déplacement diminuent donc de plus en plus vers les extrémités; les moments diminuent pareillement.

Il faut donc poser en principe que dans le système actuel d'armement de nos vaisseaux, leur arc est un *maximum* lorsqu'ils sont lèges, et un *minimum* lorsqu'ils sont complètement armés.

C'est pour diminuer la valeur maximum qu'on a soin de lester le milieu du navire avant de le mettre a la mer, et tant que le vaisseau reste lège.

Les perfectionnements apportés depuis quelques années dans l'arrimage des vaisseaux, ont surtout eu pour but de diminuer la valeur minimum de l'arc, celle qui a lieu lorsque le batiment est armé et prêt à faire voile.

Dès qu'un navire a completté son armement, sa charge

diminue graduellement par des consommations journalières, les moments qui tendent à reproduire l'arc varient tous les jours, et cet arc doit varier aussi.

Un des perfectionnements de l'arrimage, est d'avoir placé vers les extrêmités, la majeure partie des objets consommables et dont le poids ne peut être remplacé pendant le cours de la navigation. Par ce moyen les moments diminuent au lieu d'augmenter lorsque le vaisseau s'allégit.

Ainsi, dans le systême de notre arrimage actuel, les forces qui tendent à produire l'arc sont à leur maximum au moment où le chargement est complet, en considérant ces moments comparativement avec ceux qui ont lieu pendant les consommations journalières des munitions.

Ici se présente une question importante et dont on n'a pas encore tenté de faire un examen approfondi. Quel est l'effet général de l'arc des vaisseaux sur leurs qualités a la mer? L'arc est-il avantageux ou nuisible? doit-on chercher à le diminuer, ou à l'augmenter, ou à le laisser tel qu'il résultera de la nature des matériaux employés et de la perfection ou de l'imperfection de la structure et de la construction? Essayons de repandre quelque jour sur ces questions qui nous semblent du plus haut intérêt pour le perfectionnement de l'architecture navale.

Ainsi que nous l'avons vu précédemment, lorsque le navire est en repos sa partie inférieure n'en éprouve pas moins un raccourcissement, et sa partie supérieure un alongement dont l'effet est, 1° d'alonger ou de raccourcir les fibres du bois, 2° de détruire les assemblages de la charpente, 3° de plier ou briser les clous ou les chevilles qui unissent les pièces en contact.

A mesure que les moments des forces déformatrices augmentent, ces effets augmentent pareillement : mais ils ne diminuent pas dans le même rapport lorsque ces moments diminuent ; parce que les déformations dont nous venons d'indiquer l'existence sont produits sur des corps imparfaitement élastiques.

Ainsi lorsque l'arc diminue, les clous et les chevilles se redressent, mais trop peu ; les assemblages disjoints ne se rejoignent qu'en partie : enfin les fibres alongées ne se retirent pas assez, et les fibres foulées ne reviennent pas à leur longueur primitive.

Il n'y a donc plus connexion intime entre les éléments de l'édifice, et ce défaut de connexion produit des effets d'une énergie extraordinaire sur la charpente des vaisseaux.

La non-connexion de ces éléments permet à chacun d'eux de prendre un mouvement libre plus ou moins considérable par rapport à ceux auxquels il était dans l'origine invariablement uni. L'ensemble de ces petits mouvements est ce qu'on appelle le *jeu* de la charpente.

Lorsqu'un édifice a du *jeu* dans ses diverses parties et qu'il est sollicité par des forces déformatrices quelconques, ces forces ont pour premier effet de déplacer les éléments de l'édifice suivant les directions qu'ils peuvent prendre en vertu de leur jeu : ces éléments n'opposent à ce premier déplacement que leur force d'inertie ; et la quantité des forces vives dont le systême est animé n'est en rien diminuée.

Mais chaque élément, en éprouvant de la sorte un déplacement libre, acquiert une certaine vitesse au moment où il éprouve la résistance des autres parties du systême ; il y produit un choc.

Ainsi ce n'est plus par une simple pression que les éléments de l'édifice agissent les uns sur les autres pour s'alonger ou se raccourcir mutuellement; et comme le choc augmente prodigieusement l'énergie de la force perturbatrice, on voit que, toutes choses égales d'ailleurs, et les forces déformatrices restant les mêmes, le jeu des pièces doit sans cesse augmenter pour produire des effets de plus en plus dangereux.

Ce choc est donné par une vitesse pour ainsi dire insensible lorsqu'il résulte de variations lentes exercées dans le chargement du vaisseau; mais il est rapide et violent dans les perturbations produites par les forces de la nature.

Il ne faut pas appliquer à la structure d'un vaisseau les idées qu'on pourrait se former sur la structure d'un édifice établi sur un sol immuable, et sans qu'aucune force déformatrice vienne ajouter son action à celle de la pesanteur des éléments de cet édifice. Il faut considérer le vaisseau lorsqu'il flotte sur une mer plus ou moins agitée, lorsqu'il est battu par des vents plus ou moins forts, plus ou moins constants, plus ou moins brusques.

Alors on verra que les moments qui tendent à produire l'arc du vaisseau varieront, pour ainsi dire, à chaque instant, qu'ils deviendront même vers la pouppe et vers la proue alternativement positifs et négatifs. Il faut donc regarder un vaisseau battu par la mer et les vents, comme une espèce de reptile qui nage à la superficie d'une mer ondulée, qui se courbe et se recourbe à chaque instant dans le plan vertical de sa route, et s'avance en formant de la sorte une ligne sinueuse.

Lors même qu'on regarderait l'élasticité des bois comme une force que le temps ne peut point altérer, ce qui n'est pas, il

est facile de voir qu'en divisant la durée des vaisseaux en intervalles égaux, le jeu de leur charpente, et parconséquent l'arc qui en résulte, doit croitre suivant une marche accélérée. Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, l'arc des vaisseaux augmente plus a leur seconde campagne qu'à leur première; à leur troisième qu'à leur seconde, et ainsi de suite; c'est aussi ce que confirme l'expérience. Une première campagne n'augmentera pas l'arc d'un bon vaisseau de plus de 3 ou 4 centimètres; il s'accroitra de 10 ou de 15 à la quatrième ou cinquième, et souvent cette seule augmentation du jeu de la charpente d'un vaisseau, nécessitera d'en faire un grand radoub.

D'après ces détails on doit voir que la durée des vaisseaux, toutes choses égales d'ailleurs, est directement proportionnelle à leur inflexibilité virtuelle ou primitive. Or cette inflexibilité est en raison inverse de la flèche de l'arc longitudinal. La durée des vaisseaux considerée sous ce point de vue est, comme on voit, en raison inverse de l'arc qu'ils prennent au moment de leur mise à l'eau; leur construction étant totalement finie, ou du moins également avancée.

Aussi les ingénieurs regardent-ils comme un indice de la faiblesse de leurs constructions, la grandeur de l'arc au moment de sa mise à l'eau; j'en ai vu plusieurs cacher ce véritable arc et le faire croire beaucoup plus petit qu'il n'était réellement. Mais un semblable charlatanisme est indigne d'un corps aussi éclairé que celui du génie maritime; et des erreurs de fait, ainsi présentées d'une manière positive, pourraient être les germes de conséquences pareillement erronnées et tout-à-fait contraires aux progrès de l'architecture navale.

Tout en convenant que la flexibilité virtuelle des vaisseaux

est contraire à leur durée, beaucoup de marins ont pensé qu'elle leur procuroit des qualités nautiques et spécialement une plus grande vélocité. C'est dans cette persuasion qu'on a vu des batiments chassés par un ennemi supérieur employer tous les moyens possibles pour délier leur navire afin de lui procurer une marche plus avantageuse. Mais comme ils employaient ce moyen, en même temps qu'ils jettaient à la mer tous les poids les plus élevés dont ils pouvaient se débarasser, et qu'ainsi la stabilité se trouvait augmentée plutôt que diminuée, malgré l'émergement; ils pouvaient, dans un gros temps, conserver la même voilure et même l'augmenter pour forcer de voiles. C'est par la réunion de toutes ces causes que le vaisseau pouvait acquérir des qualités nouvelles et prendre une plus grande vitesse sans qu'on fut en droit de conclure que cet accroissement de vélocité fût dû à la déliaison du vaisseau.

D'autres faits cependant semblent venir à l'appui de cette conclusion. On a vu des vaisseaux dont la marche était très médiocre dans leurs premières campagnes, en acquérir une supérieure lorsqu'ils devenaient considérablement arquées.

Observons relativement à ces faits, qu'à chaque nouvelle campagne un nouveau capitaine faisant un arrimage plus ou moins différent, et cherchant à varier la différence des tirants d'eau, ces causes diverses ont pu donner à d'anciens vaisseaux des qualités inespérées.

Je dirai de plus que si l'on cite quelques bâtiments dont la marche est devenue moins désavantageuse à mesure qu'ils ont vieilli, le plus grand nombre des navires perd au contraire, avec le temps, une partie sensible de sa vélocité.

Il me semble possible d'expliquer ces contradictions, au lieu

d'en nier la réalité, comme a fait BOUGUER dans son traité du Navire.

Les anciens vaisseaux sur lesquels on a observé cette augmentation insensible de vélocité, ayant leurs plans conçus d'après les principes alors adoptés, avaient une proue beaucoup trop fine; cette proue devait donc s'enfoncer beaucoup plus dans la lame et s'émerger d'avantage aussitôt que cette lame était passée; ainsi les tangages étaient plus étendus à chaque rechute de la proue; son grand enfoncement dans le fluide lui faisait éprouver une plus grande rétardation dans sa vitesse, et le vaisseau ne pouvait pas avoir une marche excellente.

Mais par l'effet de l'arc le déplacement diminue vers le maître couple tandis qu'il augmente vers les extrêmités. La proue, d'abord trop exigue, augmentait donc peu à peu ses capacités ; les défauts du batiment, qui tenaient à cette exiguité devaient progressivement diminuer et la vélocité s'accroitre.

Au contraire, lorsque la proue a déjà tout le volume qui convient à la navigation la plus avantageuse, l'effet de l'arc étant d'augmenter encore ce volume, le rend trop considérable, et la marche doit diminuer.

De là résulte donc cette conséquence singulière et remarquable. *C'est que l'arc ne peut être favorable qu'à de mauvais vaisseaux et qu'il est contraire aux bons bâtiments.* Aussi maintenant que l'architecture navale a fait des progrès sensibles on ne peut plus citer de ces bâtiments dont la marche devient supérieure avec le temps.

Il faut bien se garder de croire que l'augmentation du volume des extrêmités de la carène par l'effet de l'arc soit

une quantité toujours peu considérable. Pour un arc d'un demi-mètre, par exemple, (et l'on a vu des vaisseaux naviguer avec un arc plus considérable encore) le volume de la proue augmente *de plus de* 100 *tonnaux;* il en est de même du volume de la pouppe et le volume de la carène vers le maître coup le diminue d'autant. On voit qu'une pareille augmentation équivaut à un renflement considérable de ces extrêmités.

Si l'on réfléchit encore que les tranches qui s'élèvent par l'effet de l'arc, sont celles du milieu, s'élèvent beaucoup moins que ne s'abaissent les extrêmités qui sont le plus chargées sur les hauts, à cause de la tonture générale des ponts, on verra que l'effet de l'arc est d'accroitre la stabilité : c'était donc encore un grand avantage pour les anciens bâtiments, qui généralement avaient trop peu de stabilité.

Ces batiments ayant alors une excessive tonture pouvaient en perdre beaucoup par l'effet de l'arc avant que leur batterie fût noyée vers l'avant ou vers l'arrière. Il y avait donc un grand avantage à ce que l'arc diminuât cette tonture, et fît émerger la batterie vers le maître couple ou sa hauteur au-dessus de la flottaison était trop peu considérable.

Si maintenant nous considérons le vaisseau par rapport à ses lignes d'eau, nous verrons que ces lignes assez peu changées par l'arc vers la flottaison, le seront beaucoup plus vers les parties inférieures de la carène. A tel point que si l'arc était plus grand que le $\frac{1}{4}$ de la différence de tirant d'eau, ce qui n'est pas râre, la ligne d'eau tangente au-dessus de la quille aurait la forme d'un ∞ alongé; elle serait plus large à l'avant et à l'arrière qu'au milieu, ce qui certes ne peut être favorable à la marche du batiment.

Plus les lignes d'eau sont parfaites, plus cette marche sera troublée par cette déformation, plus par conséquent l'arc aura des effets pernicieux. C'est la conséquence à laquelle nous étions déjà parvenus par des considérations tirées des effets du tangage.

Après avoir déterminé l'influence directe de l'arc sur la marche progressive des vaisseaux il faut considérer son influence sur leur marche latérale ou leur *dérive.*

Si nous concevons le vaisseau coupé par tranches parallèles au maître couple, les tranches du centre étant émergées par l'effet de l'eau, leur résistance à la dérive diminue. Au contraire les tranches de la pouppe et de la proue s'immergeant, leur résistance à la dérive est augmentée. Ainsi la résistance à la dérive, au lieu d'être augmentée le plus possible vers le centre, est au contraire accumulée vers les extrêmités par l'effet de l'arc.

Donc l'arc des vaisseaux a pour effet immédiat de rendre leurs évolutions plus difficiles et plus lentes.

Sans doute l'arc augmentant le tirant d'eau de l'avant et de l'arrière aux dépens du tirant d'eau du milieu, la partie du gouvernail plongée dans le fluide augmente en surface et peut en partie balancer cet effet; mais il en résulte que pour effectuer la même évolution, il faut faire d'autant plus de force à la roue du gouvernail que l'arc devient plus considérable: ainsi le gouvernail et les timoniers seront d'autant plus fatigués que le vaisseau sera plus arqué.

Il faut observer ensuite que la partie émergée par l'effet de l'arc auprès du maître couple étant sensiblement verticale et parallèle à la quille avait la plus grande efficacité possible pour résister à la dérive. Au lieu que les parties immergées vers la pouppe et vers la proue, formant un angle de plus en

plus aigu avec la direction latérale s'opposent beaucoup moins à la dérive.

Concluons donc qu'un second effet de l'arc est de diminuer la résistance totale à la dérive.

Si nous résumons les résultats auxquels nous venons de parvenir nous verrons que,

1°. Tous les vaisseaux ont de l'arc.

2°. Cet arc est à son maximum dans le vaisseau lège, comparativement au vaisseau complètement armé.

3°. Cet arc du vaisseau complètement armé est à son maximum par rapport à l'arc qui résulte des consommations journalières.

4°. La forme de l'arc varie ainsi que son amplitude suivant la distribution des poids qui composent l'armement.

5°. Le point de la plus grande courbure, ou le sommet de l'arc, correspond entre les deux gaillards par le travers des passe-avants, beaucoup plus près de la proue qu'on ne le suppose ordinairement.

6°. La durée des vaisseaux, toutes choses égales d'ailleurs, est en raison inverse de leur arc primitif.

7°. L'arc augmente beaucoup les capacités de la carène vers la pouppe et la proue aux dépens des capacités du milieu.

8°. L'arc auroit un peu la stabilité.

9°. L'arc ne peut être favorable qu'à de mauvais vaisseaux.

10°. Dans les autres navires il diminue la marche directe.

11°. Dans tous il diminue la résistance latérale qui s'oppose à la dérive.

12°. Dans tous il augmente la difficulté d'évoluer, surtout avec les voiles.

13°. L'arc augmentant les capacités de la pouppe et de la

proue, aux dépens des capacités du milieu, diminue l'énergie des forces qui tendent à augmenter de plus en plus cet arc. Mais la diminution d'élasticité dont cet arc est le signe visible, fait que le navire n'en est pas plus, pour cela, susceptible de résister à des efforts moins énergiques, et c'est ce que démontre l'expérience, puisque l'accroissement de l'arc, dans une suite de temps égaux et dans les mêmes circonstances, cet accroissement, dis-je, procède par degrés de plus en plus grands, jusqu'à un certain terme où l'on ne pourrait plus se servir du vaisseau tant il serait cassé.

D'après les principes que nous venons d'établir, il est évident que les vaisseaux modernes ne peuvent que perdre de leurs qualités en s'arquant, et que tout moyen qui pourra tendre à diminuer cet arc sera pour ces vaisseaux un véritable perfectionnement, ou si l'on veut, un préservatif de dégénération. Voyons donc si le système de Mr. Seppings est plus propre que le système actuel à préserver les vaisseaux de s'arquer trop considérablement.

Dès le commencement de ce Mémoire nous avons rapporté l'expérience fondamentale sur laquelle cet ingénieur a basé tout son système. J'avoue que cette expérience n'est pas présentée d'une manière assez concluante ; parce que Mr. Seppings, au lieu de considérer un charpente massive et continue comme celle des vaisseaux, compare les forces de deux assemblages à claires voies, l'un formé par des pièces parallèles qui forment des parallélogrammes, l'autre par des pièces obliques qui forment une suite de triangles.

Pour obtenir de l'expérience une conviction pleine et entière, il faudrait faire l'épreuve suivante, aussi simple que peu dispendieuse.

On ferait, sur une échelle de 10 ou 9 pour cent, deux murailles droites ayant un échantillon proportionnel à celui des vaisseaux. Si l'on adoptait l'échelle de dix pour cent, en donnant seulement quatre mètres de long et un mètre de haut à cette muraille, qu'on percerait vers le haut de deux rangées de sabords; on ferait l'une suivant le systême de membrure, de vaigrage, et de bordage ordinaires; l'autre serait faite suivant le systême de Mr. Seppings avec des porques obliques au-dessous des batteries et des traverses obliques entre les sabords.

Pour mesurer ensuite avec une grande exactitude l'arc pris par ces deux murailles tenues verticalement et chargées du même poids, on fixerait aux quatre angles de la muraille des prolonges de trois mètres seulement, ce qui donnerait une longueur totale de dix mètres et produirait des flèches beaucoup plus grandes que si l'on n'eût pas alongé les deux murailles.

Dans le mémoire approuvé par l'Institut, où j'ai présenté mes expériences sur la flexibilité des bois,* j'ai démontré que les systèmes de charpente composés de pièces d'un échantillon proportionnel, et chargés de poids proportionnels à leur propre poids, prenaient des arcs *dont le rayon de courbure était constamment le même;* parconséquent en chargeant nos deux murailles 10 fois plus que la réaction de l'eau ne tend à courber le vaisseau, proportionnellement le rayon de courbure de l'arc sera rendu 10 fois moins considérable; mais en doublant la longueur proportionnelle de la muraille, l'arc est rendu huit fois plus courbé, et en accumulant la force au milieu l'arc est accru dans un rapport approchant de deux

* Voyez Journal de l'Ecole Polytechnique.

à trois. Donc les courbures qu'on observera sur les murailles modèles seront aux courbures modèles comme $\frac{10 \times 8 \times 3}{2} : 1$ ou comme $120 : 1$.

On sait que les flèches des arcs très peu courbés sont entre eux comme les quarrés des cordes de ces arcs ; donc la corde de l'arc du modèle étant le dixième de la corde du vaisseau même, les flèches des arcs pris par les modèles seront pour une même courbure cent fois plus petites que celle du vaisseau, mais le modèle éprouve une courbure 120 fois plus considérable que le vaisseau ; donc les flèches des modèles seront les $\frac{12^{s}}{10}$ de celles des vaisseaux que ces modèles représenteront.

Pour faire cette expérience d'une manière plus concluante, il vaudrait mieux, selon moi, donner aux murailles modèles une longueur simplement égale au dixième de la longueur du vaisseau, et charger successivement cette muraille de poids, 1, 2, 3...10 fois plus forts que la puissance qui tend à produire l'arc.

Alors la flèche de l'arc de chaque muraille modèle serait 0,01 0,02, 0,03.... 0,1 de l'arc du vaisseau multiplié par $\frac{3}{2}$.

On aurait par ce moyen des flèches assez grandes pour être mesurées et comparées avec une grande précision.

Si nous cherchons à produire ici des flexions jusqu'à 15 fois aussi grandes que celles du vaisseau, c'est que plus les flexions sont grandes, plus il est facile de découvrir les anomalies qu'elles présentent dans leur accroissement progressif.

Au reste la pratique des arts nous présente un assez grand nombre d'expériences irrécusables pour n'avoir pas besoin de recourir à de nouveaux essais avant de se former une opinion

sur les résultats de celles dont nous donnons l'idée. Les portes d'écluse, par exemple, sont formées dans un système parfaitement comparable à celui renouvellé par M. SEPPINGS; des madriers jointifs forment un premier plan; un encadrement à pièces parallèles représente la membrure, et les traverses diagonales entre ces pièces parallèles représentent les traverses et les porques obliques.

Si les ingénieurs des ponts et chaussées trouvaient quelque imperfection, quelque défaut de solidité dans ce systême, ils ne manqueraient pas de lui substituer un systême analogue à celui de notre membrure bordée et vaigrée; mais c'est au contraire, parce qu'ils connaissent l'infériorité de ce dernier systême qu'ils se gardent bien de l'adopter linea.

Il est essentiel d'observer que les porques obliques et leurs traverses ne permettent pas plus au vaisseau de s'alonger que de se raccourcir: puisque des pièces transversales sont dirigées suivant les deux diagonales des parallélogrammes dont la cale à sa surface tapissée.

Remarquons que le vaigrage supprimé ne servait, pour ainsi dire, en rien pour empêcher l'arc du vaisseau, parce que la force de redressement tend elle-même à produire cet arc. Le vaigrage du petit fond ne s'oppose donc qu'au raccourcissement de la quille, et le remplissage des mailles, ainsi que nous le dirons dans un moment, produit bien plus énergiquement cet effet.

Je ne parle pas des porques ordinaires, parce qu'étant perpendiculaires à la direction de l'arc, elles ne servent en rien contre cet arc.

Les vaigres depuis le faux pont jusqu'au premier pont, telles que les conserve M. SEPPINGS, étant vers la partie du

vaisseau qui ne s'alonge ni ne se raccourcit, n'ont, pour ainsi dire, qu'une influence *minimum* contre la production de l'arc. Mais en les dirigeant obliquement, comme je le propose, le vaisseau ne pourra pas subir de flexion sans que toutes ces vaigres ne soient refoulées dans le sens de leurs fibres, ce qui les rendra capables d'une résistance incomparablement plus grande.

Enfin, le remplissage des mailles du petit fond s'opposera bien plus efficacement à ce raccourcissement progressif de la quille, que les vaigres de cette partie. Puisque la manière dont ce remplissage est chassé de dehors en dedans des mailles lui donne une force latente qui tend à faire alonger la quille et redresser le vaisseau.

Si l'on a soin de border aussitôt après avoir ainsi chassé ce remplissage, l'air extérieur ne le desséchant pas, il ne se rétrécira pas et ne donnera pas à la charpente un jeu pernicieux.

Il y a plus, lorsque le vaisseau sera mis à la mer, les eaux répandues dans l'intérieur de la cale, celles qui par l'effet de la capillarité traverseront le bordage et par suite la membrure, gonfleront cette membrure, et ses pièces étant contigues elles tendront à occuper plus d'espace et à détruire les forces de compression qui pourraient arquer le vaisseau.

Nous pourrons donc conclure qu'en adoptant le systême de M. SEPPINGS, avec la modification que je propose au vaigrage entre le premier pont et le faux pont,

1°. L'arc primitif du vaisseau sera moindre.

2°. L'accroissement progressif de cet arc sera moindre aussi.

3°. Le jeu qui doit s'établir entre les diverses parties de la charpente sera pareillement beaucoup moins considérable.

Figures de l'Examen théorique du nouveau Système de Charpente.

Fig. 1.

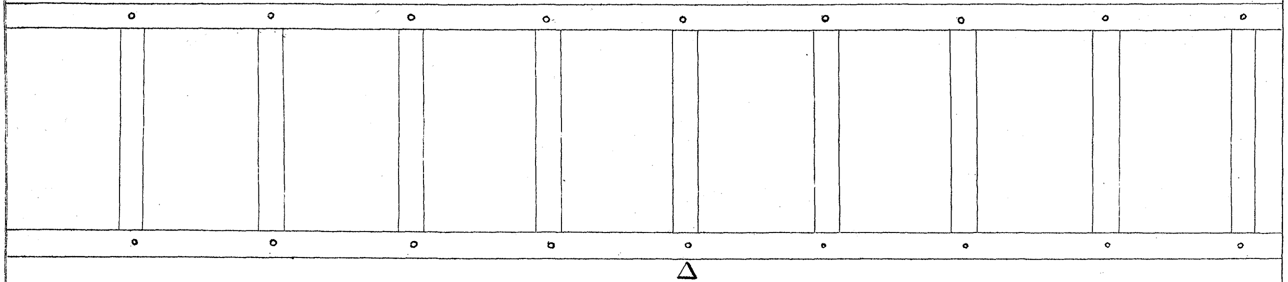


Fig. 2.

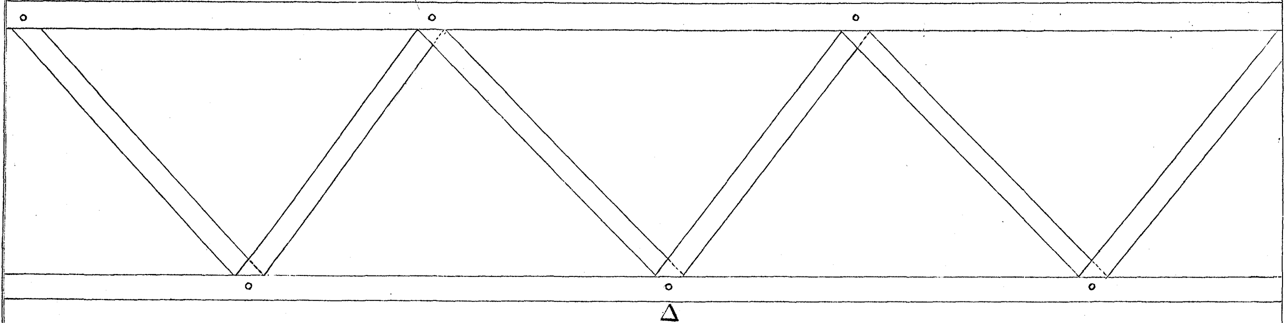


Fig. 3.

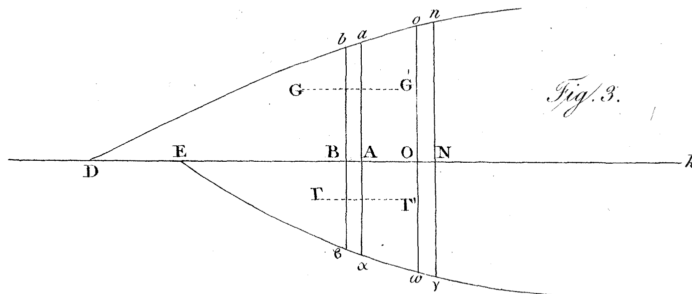
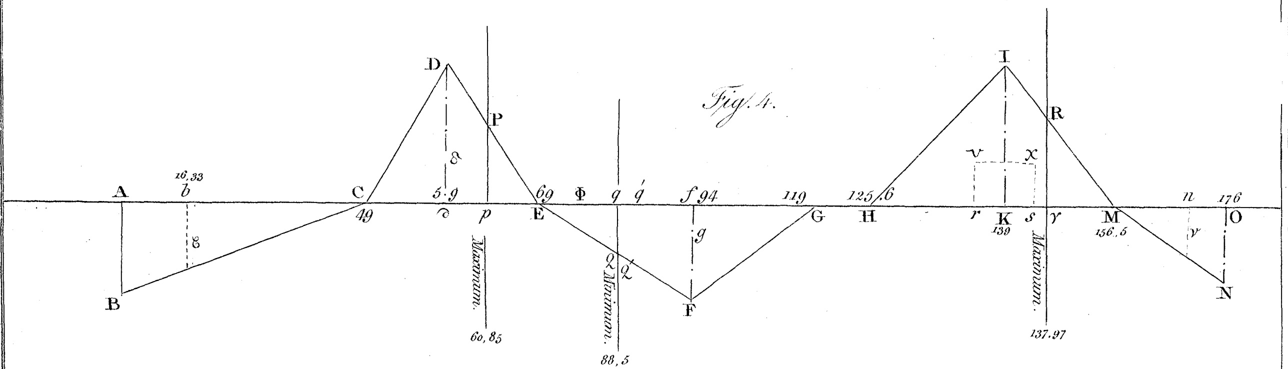


Fig. 4.



Ainsi le nouveau systême réunit à un très haut dégré la *solidité* et *la durée.*

Si l'on réfléchit maintenant que par les moyens dont nous avons démontré la possibilité, mathématiquement, en traitant de la stabilité, le lest se trouve rapproché du centre, ainsi qu'une partie des munitions : on verra que non seulement les vaisseaux acquièrent plus de force pour résister à l'arc, mais encore que la cause efficiente de cet arc devient moins considérable.

Les vaigres par leur direction longitudinale et leur grande longueur offrent au premier coup d'œil une idée de solidité plus grande que celles de pièces enchassées les unes dans les autres et laissant de grands triangles vides entre elles. Mais on sent bientôt le défaut d'une telle objection, lorsqu'on réfléchit que les vaigres de la cale, au lieu de résister contre des tensions n'ont à s'opposer en général qu'à des contractions ; ce qui rend l'effet de leur longueur à peu près nul.